

**19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

Offenlegungsschrift
DE 195 16 324 A 1

21	Aktenzeichen:	195 16 324.9
22	Anmeldetag:	24. 4. 95
43	Offenlegungstag:	31. 10. 96

(51) Int. Cl.⁸:
G 01 S 17/42
 G 01 S 17/58
 G 01 S 17/88
 G 01 B 11/00
 H 01 S 3/08
 H 01 S 3/23

DE 195 16 324 A1

⑦ Anmelder:

**GOS Gesellschaft zur Förderung angewandter Optik,
Optoelektronik, Quantenelektronik und
Spektroskopie e.V., 12489 Berlin, DE**

74 Vertreter:

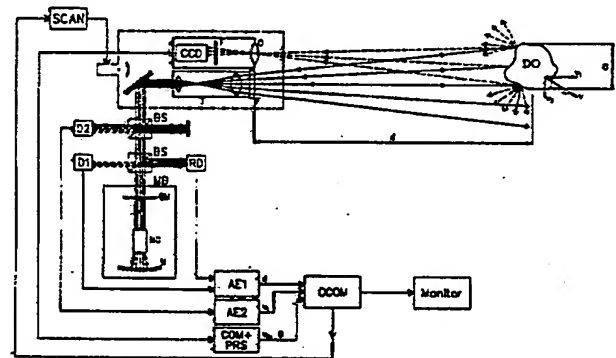
**Patentanwälte Guide Hengelhaupt Ziebig, 10785
Berlin**

72 Erfinder:

Grunwald, Rüdiger, Dr., 13187 Berlin, DE;
Zimmermann, Hartmut, Dr., 12589 Berlin, DE

⑤4 Meßverfahren und Anordnung zur Messung der Lage-, Form- und Bewegungsparameter entfernter Objekte

57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung von Lage-, Form- und Bewegungsparametern, vorrangig der Entfernung und Geschwindigkeit entfernter Objekte mit segmentierten Laserstrahlen sowie Leseranordnungen zur Erzeugung der selbigen. Die erzeugten segmentierten Strahlen können dabei untereinander in festen Phasenbeziehungen stehen. Erfindungsgemäß wird eine Matrix aus Einzelstrahlen von vorzugsweise Impulslasern als räumliche Skala verwendet und zeitlich periodisch über das zu vermessende Objekt bzw. mit dem Objekt mitgeführt, wobei eine zeitliche Auflösung durch Impulsbetrieb erreicht werden kann. Die Strahlmatrix wird passiv aus einem gegebenen Laserstrahl mit Hilfe speziell geformter Mikrolinsenarrays als Arraygeneratoren oder aktiv mittels phasengekoppelter segmentierter Laser erzeugt. Letztere enthalten als Rück- und Auskoppellemente reflektiv-refraktive Mikrospiegel-Arrays mit lokalen und/oder globalen Gradienten von Reflexionsvermögen und Phase, die eine gezielte Strahlformung gestatten. Die Scanbewegung wird vorzugsweise von Impuls zu Impuls mit akustooptischen Deflektoren realisiert.



DE 195 16 324 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung von Lage-, Form- und Bewegungsparametern, vorrangig der Entfernung und Geschwindigkeit, entfernter Objekte mit segmentierten Laserstrahlen sowie Laseranordnungen zur Erzeugung der selbigen. Die erzeugten segmentierten Strahlen können dabei untereinander in festen Phasenbeziehungen stehen. Erfindungsgemäß wird eine Matrix aus Einzelstrahlen von vorzugsweise Impulslasern als räumliche Skala verwendet und zeitlich periodisch über das zu vermessende Objekt bzw. mit dem Objekt mitgeführt, wobei eine zeitliche Auflösung durch Impulsbetrieb erreicht werden kann. Die Strahlmatrix wird passiv aus einem gegebenen Laserstrahl mit Hilfe speziell geformter Mikrolinsenarrays als Arraygeneratoren oder aktiv mittels phasengekoppelter segmentierter Laser erzeugt. Letztere enthalten als Rück- und Auskoppellemente reflektiv-refraktive Mikrospiegel-Arrays mit lokalen und/oder globalen Gradienten von Reflexionsvermögen und Phase, die eine gezielte Strahlformung gestatten. Die Scan-Bewegung wird vorzugsweise von Impuls zu Impuls mit akustooptischen Deflektoren realisiert.

Das vorgeschlagene Verfahren mit den zugehörigen Anordnungen dient zur Messung der Lage, Form- und Bewegungseigenschaften entfernter bewegter Objekte. Die spezifische Matrixgeometrie in Verbindung mit klassischen Scan-Techniken gestattet es, wegen der simultanen 2D-Abtastung und durch die Matrixstruktur gegebenen Möglichkeiten zur optischen Vorfilterung ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis sowie eine höhere Meßgeschwindigkeit zu erreichen. Durch gleichzeitige Messung mit mehreren phasen-gekoppelten Teilstrahlen kann ein Mehrkanal-Laserradar realisiert werden. Ferner ist der Aufbau kohärenter Mehrkanal-Interferometer möglich. Bei separater Codierung der Teilstrahlen der Laserstrahlmatrix ergeben sich des weiteren Anwendungen zur Positionsbestimmung, wobei die Detektion auch vom bewegten Objekt aus erfolgen kann (Sektorenkennung, Laserleuchtf Feuer, Leitsysteme), sowie neuartige Anordnungen zur mehrkanaligen Freiraum-Signalübermittlung. Für sicherheitstechnische Anwendungen (Objektschutz, Arbeitsschutz) lassen sich auch segmentierte Lichtschranken oder Lichtvorhänge realisieren, die eine Lokalisierung einer Schutzraumverletzung, eines Objektes oder einer Person und eine Klassifizierung oder Erkennung von Objekten nach Größe und Form erlauben (Verkehrsflußüberwachung, Fließbandsortierung, Füllhöhenkontrolle, Vermessung von Fischeschwärmen etc.)

Aus der Literatur bekannt sind eine Vielzahl technischer Lösungen zur Detektion der Parameter bewegter distanter Objekte mit Laserradar.

Publiziert wurden unterschiedlichste Verfahren und Anordnungen zur Messung von Entfernungen, Richtung, Geschwindigkeit, Rotation, Form, spektralen Eigenschaften und Raumfrequenzfilterung bis hin zur Ziel- und Szeneerkennung, die zumeist komplizierte Komponenten zum Scannen der Richtung (G. Born, G. Sepp, D. Siemsen, MBB, Verfahren zur Zielerkennung, DE 05 3225474 A1, G01S 17/88, 8.7.1982 Anm., 19.1.1984 OS) oder zum Wobbeln des Abstrahl-Öffnungswinkels, wie z. B. periodisches Zoomen mit Objektiv (G. Born, MBB: Verfahren zur Störzeichen (Cluster-Unterdrückung bei Doppler-Lidar-Geräten, DE AS 2930937 B2, G01S 17/50, 31.7.1979 Anm., 5.2.1981 OS), voraussetzen.

Bekannt ist die Ausnutzung der Laufzeit von Lichtim-

pulsen für die Entfernungsbestimmung (FR-PS 1585137) sowie die Messung von Geschwindigkeiten über die Dopplerverschiebung. Dafür sind frequenzstabile cw-Laser als lokale Oszillatoren (LO) erforderlich, oder man nutzt die Überlagerung eines reflektierten Impulslasersignals mit einem LO (DE OS 2319082). Zur Bestimmung von Entfernung und Radialgeschwindigkeit des Objekts lassen sich vorteilhafterweise getrennte Kanäle benutzen, wobei auch direkte Messung ohne Überlagerung möglich ist (FR-PS 2081184).

Anordnungen zur Erzeugung von Strahlarrays mit passiven oder aktiven optischen Systemen als solche entsprechen ebenfalls weitgehend dem Stand der Technik. Bekannt ist beispielsweise die Anregung matrixförmiger Supermoden in einem Festkörperlaser mit Hilfe eines absorbierenden Lochblenden-Arrays im Resonatorinneren (S. De Silvestri, V. Magni, O. Svelto: "Modes of resonators with mirror reflectivity modulated by absorbing masks", Appl Opt. Vol. 28, 3684—3690, 1989) sowie eine verbesserte Anordnung, bei zur Vermeidung der Absorptionsverluste Mikro-Spiegel-Arrays anstelle der Lochmaske verwendet werden (R. Grunwald, U. Griebner, D. Schäfer: "Graded reflectivity micro-mirror arrays", 16th Congr. of the Int. Commission for Optics, Budapest 1993, poster WIP 1.21, in: SPIE Proc. Band 1983, pp. 49—50, 1993; R. Grunwald, U. Griebner: Segmented solid-state laser resonators with graded reflectance micro-mirror arrays. — Pure Appl. Opt. 3 (1994), 435—440). Arrays mit einhüllenden Reflexionsfunktionen wurden in Talbot-Resonatoren zur Strahlformung benutzt (R. Grunwald, U. Griebner, R. Koch: "Phase-coupled multiple-beam solid-state laser with Talbot-resonator", — CLEO '94, Anaheim, USA, May 8—13, 1994, paper CFE2, Technical Digest, 410). Mehrfach-selbstabbildende Resonatoren wurden für Mehrwellenlängen-Anwendungen entwickelt (R. Grunwald, U. Griebner, R. Ehler: Microlens arrays for segmented laser architectures. — Photonics West '95, San Jose, Feb. 2—10, 1995). Bekannt ist weder die Kombination selbstabbildender segmentierter Impulslaser mit steuerbaren Strahlführungssystemen und räumlich selektiver Detektionselektronik noch das Verfahren der kohärenten Mehrkanal-Homodyne-Messung mit entsprechenden phasensynchronen Matrixlasern.

Nachteilig bei bisher bekannten Anordnungen und Verfahren ist, daß für sequentielle Abtastung entfernter Objekte extrem schnelle Scan-Techniken benötigt werden, insbesondere wenn sich Lage und Form der Objekte mit großer Geschwindigkeit verändern. Dabei können sichere Aussagen über Größe und Form der Objekte (Erkennung) erst nach hinreichend vielen Abtastschritten geliefert werden. Die Erzeugung von Matrizen phasenkohärenter Laserstrahlen mit konventionellen Techniken stellt ferner enorme Anforderungen an die Qualität der verwendeten optischen Komponenten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, mit Hilfe einer Matrix phasengekoppelter Laserstrahlen hoher Strahlqualität eine verbesserte, räumlich und zeitlich hochaufgelöste, möglichst rauscharme, schnelle Messung von Lage-, Form- und Bewegungsparametern entfernter Objekte zu erreichen und Meßverfahren und Anordnungen anzugeben, welche es gestatten, bei möglichst kompakter Bauweise, d. h. mit möglichst wenig externen optischen Komponenten, matrixförmige Laserstrahlen auf einer oder mehreren Wellenlängen mit untereinander festen Phasenbeziehungen zu erzeugen, die sich zur simultanen Abtastung ausgedehnter distanter Objekte eignen und deren Teilstrahlen sich mit ge-

eigneten Mitteln hinsichtlich ihrer Amplitude steuern oder vorprägen lassen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 11 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten. Von besonderem Vorteil ist dabei, daß entweder matrixförmige kohärente Laserstrahlen mit Hilfe selbstabbildender oder mehrfachselbstabbildender Laserresonatoren oder mit externen mikrooptischen Arraykomponenten (Mikrolinsen-Arrays) generiert, mit oder ohne zusätzliche Optiken (z. B. Teleskope) in Richtung der zu vermessenden Objekte abgestrahlt sowie die reflektierte oder gestreute Strahlung direkt oder nach Mischung mit der erzeugenden Laserstrahlung oder mit einem lokalen Oszillator detektiert und die entstehenden Signale hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs von Amplitude und Frequenz analysiert werden.

Die Matrixstrahlen bilden dabei infolge ihrer regelmäßigen Anordnung (z. B. Büschel mit hexagonalem Querschnitt) eine Winkelskala im Raum. Informationen über Objekteigenschaften ergeben sich aus der Laufzeit (Entfernungen), Frequenzverschiebungen (Geschwindigkeiten) Vorzeichen der Frequenzverschiebungen (Richtungen der Geschwindigkeitsvektoren). Diese Informationen können zusätzlich mit dem jeweiligen Kanal gekoppelt sein, wenn einzelne Teilstrahlen bezüglich Phase und Amplitude unterschiedlich codiert werden, was z. B. mit Hilfe von räumlichen Lichtmodulatoren erreicht wird.

Mittels akustooptischer oder anderweitiger Ablenk-einheiten kann der Matrixstrahl über das Objekt geführt werden, wenn die Objektbewegung langsam erfolgt oder sich das Objekt in Ruhe befindet. Somit ist es möglich, simultan eine Matrix von Meßpunkten abzutasten und gegenüber herkömmlichen Verfahren in gleichen Zeitintervallen wesentlich mehr Informationen über entfernte Objekte aufzunehmen bzw. mehrkanalig zu übermitteln.

Die Eigenschaften der Laserstrahlmatrix von Lasern mit selbstabbildenden oder mehrfach-selbstabbildenden Resonatoren lassen sich mit Hilfe spezieller mikrooptischer Arraykomponenten beeinflussen. Solche Komponenten weisen lokale oder globale Phasen- und/oder Reflexionsverläufe, vorrangig in Form von Gauß- oder Super-Gauß-Profilen, auf. Aufgrund der regelmäßigen Strahlmatrix kann das Signal-Rausch-Verhältnis durch angepaßte optische Vorfilterung (z. B. mit holografischen Filtern) zusätzlich verbessert werden.

Die Erfindung wird an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Darstellung einer Anordnung zur Messung der Entfernung eines Objektes bekannter Größe.

Fig. 2 die schematische Darstellung einer Anordnung zur Realisierung eines Lichtvorhanges

Fig. 3 die schematische Darstellung einer Laser-Radar-Anordnung.

Ausführungsbeispiel 1

Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäß ausgebildete einfache Anordnung zur Messung der Entfernung eines Objektes bekannter Größe. Als Quelle dient hierbei ein blitzlampengepumpter Impuls-Festkörperlaser mit einem Nd:Glas-Stab (NG) von 9 cm Länge und 3 mm Durchmesser als aktivem Medium, einem hochreflektierenden Spiegel (M) und einem Mikro-Gradienten-

spiegel-Array (GM). M und GM befinden sich in einer Entfernung, die dem Vielfachen einer Talbot-Distanz entspricht, und bilden somit einen selbstabbildenden Resonator. Emittiert wird ein matrixförmiger Strahl (MB), der aus etwa 200 Teilstrahlen mit nahezu beugungsbegrenzter Divergenz zusammengesetzt ist. Die Divergenz der Teilstrahlen ist etwa um einen Faktor 10 geringer als die Divergenz der Einhüllenden der Matrix.

Wegen der bekannten Objektgröße genügt es, die Zahl der vom entfernten Objekt (DO) reflektierten Teilstrahlen zu bestimmen. Zu diesem Zweck wird das Objekt DO mittels eines Objektivs (O) über ein Spektralfilter (F) auf eine Kamera (CCD) abgebildet. Mit einem Bildverarbeitungssystem (PRS) wird die Zahl der spektral relevanten Reflexionen in ausgezeichneten Richtungen (vertikal, horizontal) bestimmt und per Computer (COM) die Objektentfernung ermittelt. Die räumliche Auflösung des Verfahrens ist durch den Winkelabstand benachbarter Teilstrahlen gegeben und verhält sich umgekehrt proportional zur Entfernung. Die Selektion der Meßpunkte gegenüber Hintergrundstreuung wird durch Größenanalyse der Reflexe erreicht. Die beschriebene Anordnung kann zur u. a. auch Überwachung der Position von Maschinen und Anlagen, zur Füllstandsmessung, zur Beladungskontrolle und zur Flughöhenmessung von Flugkörpern eingesetzt werden.

Ausführungsbeispiel 2

Das zweite Ausführungsbeispiel beschreibt als eine weitere erfindungsgemäße Meßanordnung einen in Fig. 2 dargestellten einfachen Lichtvorhang. Hierbei werden zwei matrixförmige Laserstrahlen mit Anordnungen wie in Ausführungsbeispiel 1 beschrieben erzeugt (MB1, MB2). Die Meßstrecke ist hierbei als mehrkanalige Lichtschranke ausgeführt, wobei jedem Kanal ein Detektor zugeordnet ist (D1...D4). Die Auswertung erfolgt mit Mikrocontrollern (MC). Die Datenübermittlung zwischen einzelnen Parts der Anordnung erfolgt mittels optischer oder kabelgebundener Datenübertragungsstrecken (DT). Durch Bestimmung der Zahl und Lage der unterbrochenen Kanäle kann zwischen verschiedenen Objektklassen unterschieden werden (Menschen, Maschinen, Tiere, Nebel). Damit kann ein Sicherheitssystem aufgebaut werden, daß beispielsweise die Abschaltung von Anlagen in gefährlichen Bereichen (Hochspannung, Gleisanlagen) steuert oder bei unbelegtem Betreten von Arealen Alarm auslöst.

Ausführungsbeispiel 3

Das dritte, in Fig. 3 dargestellte Ausführungsbeispiel beinhaltet eine Laser-Radar-Anordnung zur Bestimmung von Entfernung, Form, Richtung und Geschwindigkeit bewegter Objekte.

Hierbei wird ein matrixförmiger kohärenter Laserstrahl (MB) mit einer Anordnung analog der in Ausführungsbeispiel 1 beschriebenen erzeugt und die vom Meßobjekt (DO) der Ausdehnung G reflektierten Lichtsignale elektronisch detektiert (GCD). Die Entfernung d wird aus der Laufzeit der Impulsflanken ermittelt. Informationen über die Form ergeben sich aus der reflektierten Matrix, sofern genügend viele Teilstrahlen auf das Objekt treffen. Richtung und Geschwindigkeit werden aus der vorzeichenbehafteten Dopplerverschiebung der Laserfrequenz bestimmt. Zunächst werden mit einem Strahlteiler das vom Objekt in den relevanten Raum-

winkel reflektierte Lichtsignal auf einen schnellen Detektor (D1) sowie das Sender-Signal auf einen Referenzdetektor (RD) gelenkt und in einer elektronischen Auswerteschaltung (AE1) miteinander verglichen sowie aus der Zeitdifferenz der Flanken die Impulslaufzeit bestimmt. Der reflektierte Laserstrahl wird mit einem Teleskop (T) erfaßt, nach Teilung an einem zweiten Strahlteiler (BS) mit sich selbst (wie im Bild dargestellt) oder einem lokalen Oszillator (LO) stabiler Frequenz überlagert und die entstehende Schwebung mit einem schnellen Detektor (D2) gemessen und mit einer zweiten Auswerteschaltung (AE2) analysiert. Mit einer Scan-Vorrichtung (SCAN) kann der Strahl von Impuls zu Impuls dem Objekt nachgeführt werden und/oder während des Impulses über das Objekt bewegt werden. Die Verarbeitung und Kalibrierung sämtlicher Signale sowie Datenformatierung und -ausgabe erfolgt in einem Zentralcomputer (CCOM).

Die Erfindung ist nicht auf die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination der Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Lage-, Form- und Bewegungsparameter entfernter Objekte, dadurch gekennzeichnet, daß ein matrixförmiger Laserstrahl einer Wellenlänge oder mehrere matrixförmige Laserstrahlen mehrerer Wellenlängen als räumliche Skala oder Skalen dienen, wobei die räumliche und zeitliche Struktur der von den Objekten reflektierten bzw. gestreuten Strahlung oder deren Interferenz mit der vom Meßobjekt unbeeinflussten Strahlung oder mit einem lokalen Laseroszillator analysiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilstrahlen des matrixförmigen Laserstrahls bzw. der Laserstrahlen hochgradig phasengekoppelt sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserquelle der das Objekt abtastenden Strahlmatrix bzw. -matrizen und der lokale Laseroszillator identisch sind.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß empfängerseitig eine der Matrixgeometrie des Strahls angepaßte Raumfrequenzfilterung mit vorzugsweise holografischen Filtern erfolgt.
5. Laseranordnung zur Realisierung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Matrixstrahl mittels eines außerhalb eines Laserresonators platzierten Mikrolinsenarrays erzeugt wird.
6. Laseranordnung zur Realisierung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Matrixstrahl mittels eines selbstabbildenden oder mehrfach selbstabbildenden Laserresonators erzeugt wird und die Teilstrahlen untereinander feste Phasenbeziehungen aufweisen.
7. Laseranordnung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der gesamte Matrixstrahl oder mehrere Matrixstrahlen zugleich oder voneinander unabhängig mit Hilfe von Scan-Einrichtungen, vorzugsweise optoakustischen Deflektoren, periodisch ausgelenkt oder dem Objekt nachgeführt werden.

8. Laseranordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Komponenten der selbstabbildenden oder mehrfach selbstabbildenden Resonatoren refraktivreflektive mikrooptische Komponenten mit oder ohne lokale und globale Gradienten von Phase und/oder Reflexionsvermögen verwendet werden.

9. Laseranordnung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser ein Impulslaser verwendet wird, wodurch eine stroboskopische Messung erfolgt.

10. Laseranordnung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß mit einem mehrfach selbstabbildenden Resonator in sich phasenkohärente Matrixstrahlen simultan auf mehreren unterschiedlichen Wellenlängen erzeugt werden.

11. Vorrichtung zur Erzeugung eines steuerbaren matrixförmigen Lichtstrahls, dadurch gekennzeichnet, daß ein Laser, vorzugsweise ein diodengepumpter Festkörperlaser, mit selbstabbildender oder mehrfach selbstabbildender Resonatorstruktur eine oder mehrere matrixförmige Schaltelemente im Resonator oder außerhalb des Resonators enthält, welche zur Modulation von Amplitudenverteilung, Phasenverteilung, Polarisierung und/oder Spektralverteilung der Teilstrahlen oder der gesamten Strahlmatrix dienen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß als Schaltelemente räumliche Lichtmodulatoren (Spatial light modulators) in Transmission oder in Reflexion verwendet werden.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Spektralverteilung der Teilstrahlen mittels spektral selektiver Filter, vorzugsweise steuerbarer holografischer Elemente oder durchstimmbarer Mikro-Fabry-Perot-Etalons, separat codierbar sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

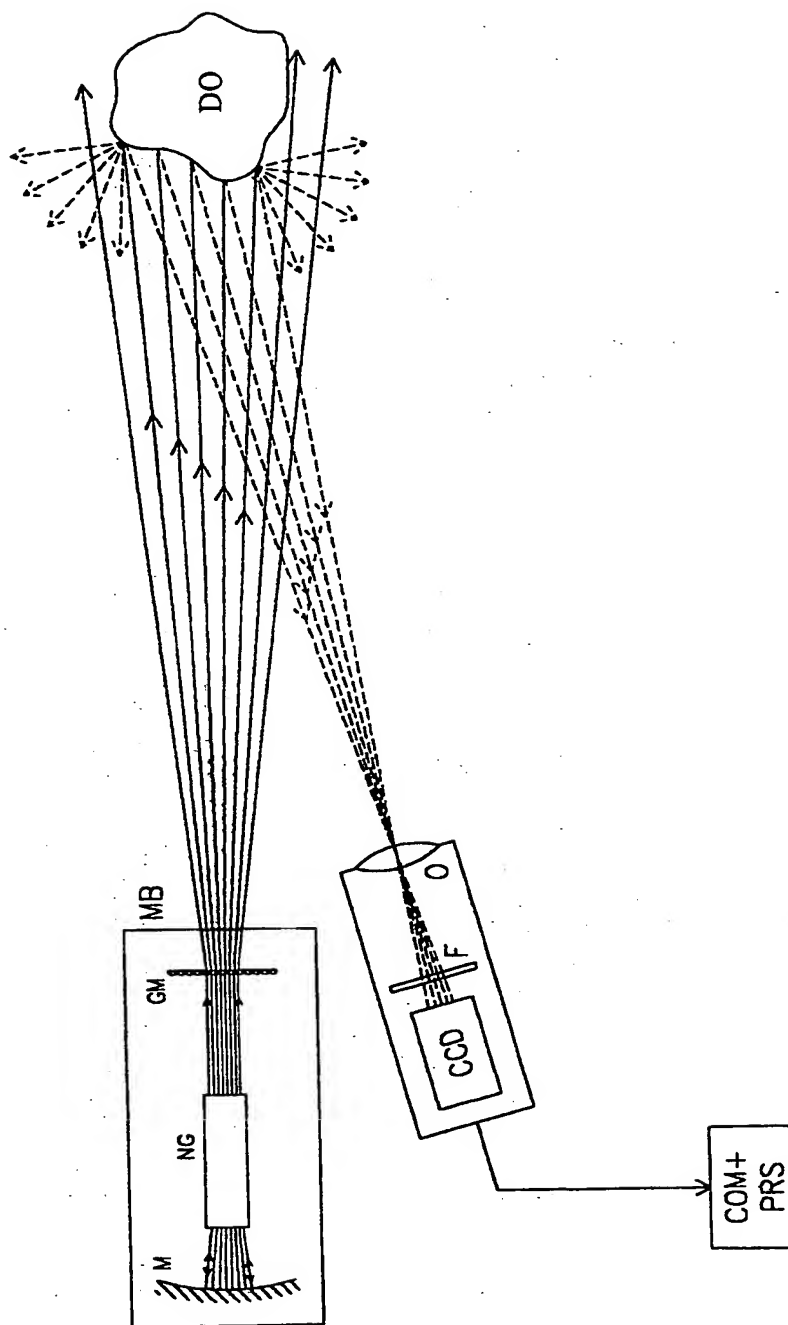


Fig. 1

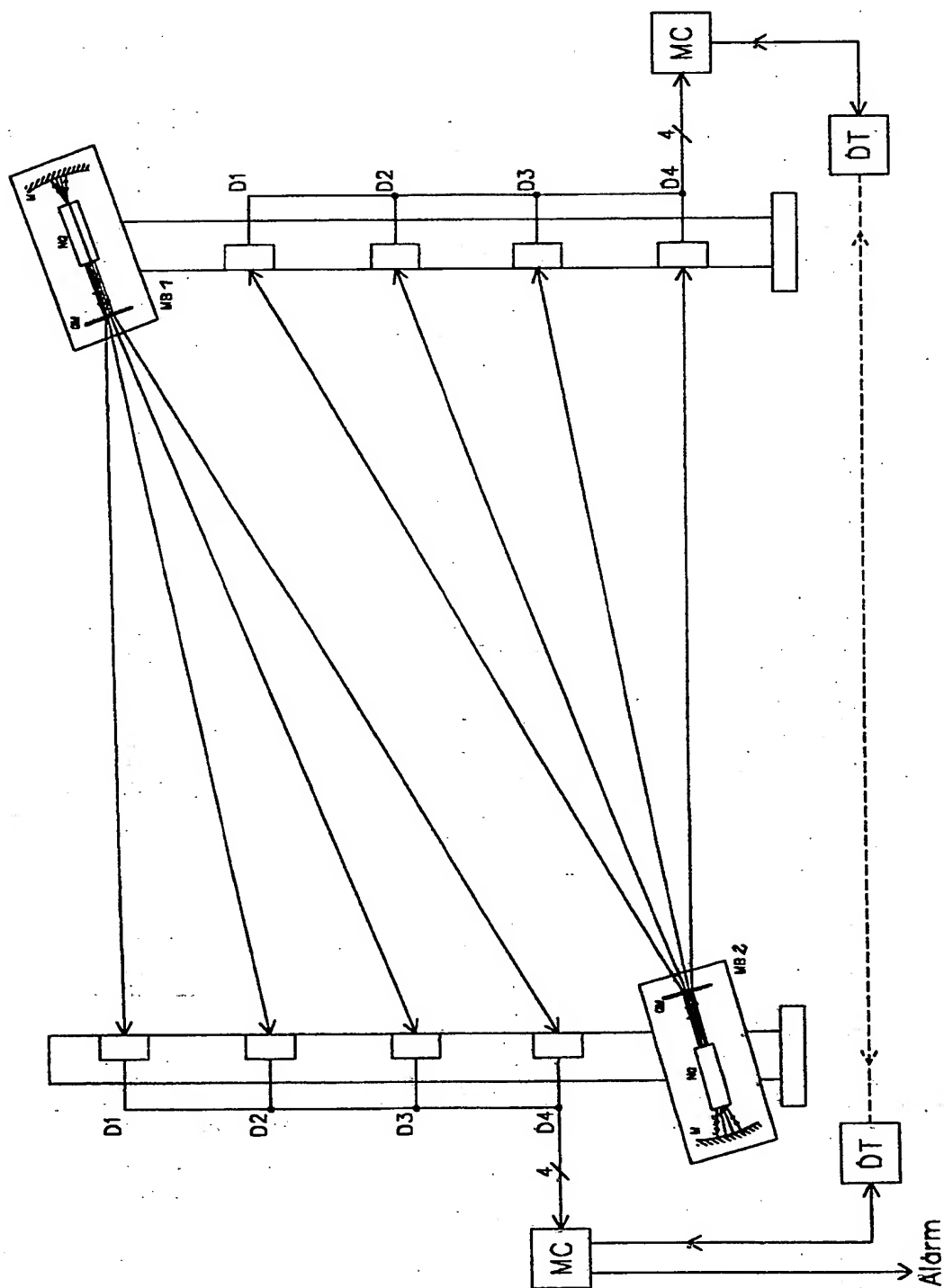


Fig. 2

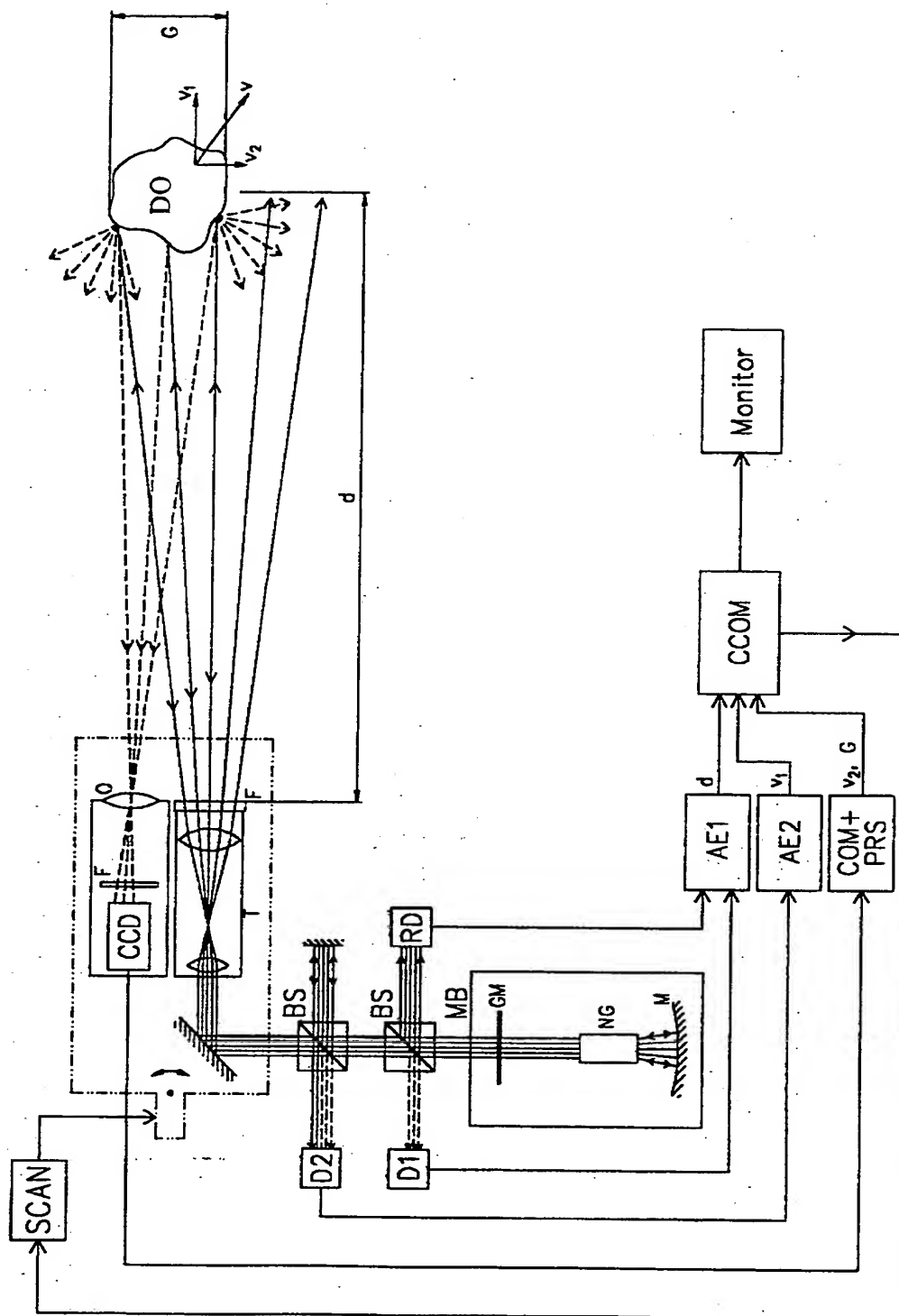


Fig. 3